

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

EP 28329 (1)

AA

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

2 288 279

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 74 34889

(54) Dispositif d'asservissement de la puissance de chauffage d'une enceinte thermostatique.

(51) Classification internationale (Int. Cl.²). F 25 D 9/00; G 05 D 23/30.

(22) Date de dépôt 17 octobre 1974, à 13 h 59 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 20 du 14-5-1976.

(71) Déposant : ANVAR (AGENCE NATIONALE DE VALORISATION DE LA RECHERCHE),
résidant en France.

(72) Invention de : Jean Plassard.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire :

L'invention a trait à un dispositif de chauffage d'une enceinte thermostatique associée à une source froide, du genre comportant en combinaison un capteur avec un élément thermosensible et délivrant un signal électrique primaire fonction de la température, un comparateur délivrant un signal d'écart en réponse à la différence entre le signal électrique primaire et un signal de consigne ajustable, un amplificateur délivrant un signal d'action et un modulateur de puissance de chauffage.

Le réglage de la température d'une enceinte thermostatique est obtenu en équilibrant les flux d'énergie thermique entrant en provenance d'une source chaude, et sortant en direction d'une source froide, source chaude ou source froide pouvant être l'ambiance lorsque la température réglée est respectivement inférieure ou supérieure à la température ambiante. Pour régler la température de l'enceinte, on peut moduler le flux entrant, le flux sortant, ou les deux. Cependant il est généralement plus aisé de moduler un flux d'énergie thermique entrant en provenance d'une source chaude en constituant cette source chaude par une résistance électrique et en modulant la puissance électrique appliquée, que de moduler le flux sortant vers la source froide, aussi bien en modulant la conductance thermique entre l'enceinte et la source froide à température constante, qu'en modulant la température de cette source froide. L'invention s'applique donc à une enceinte avec une source froide associée à température sensiblement constante, qui peut éventuellement être l'ambiance, et une source chaude constituée par une résistance électrique incorporée, le réglage de la température de l'enceinte étant obtenu en modulant la puissance électrique appliquée à la résistance.

Les dispositifs de régulation d'enceinte thermostatique de ce genre comprennent un capteur avec un élément thermosensible dans l'enceinte et délivrant un signal électrique primaire fonction de la température, un comparateur, un amplificateur d'écart et un modulateur de puissance de chauffage, qui en combinaison avec la résistance de chauffage et l'enceinte forment un système asservi. Comme il est classique dans les systèmes asservis, la régulation sera d'autant plus précise que le gain de la boucle d'asservissement, exprimé en variation de puissance par variation de température sera élevé.

Cependant, principalement en raison des inerties thermiques

de l'enceinte ce gain est limité par l'apparition d'oscillations de pompage. Par ailleurs, la puissance de chauffage nécessaire pour maintenir l'enceinte à la température de consigne n'est pas nulle, alors même que l'écart entre la température de l'enceinte et la température de consigne est nul. Aussi, dans le but d'obtenir une régulation précise, l'amplificateur d'écart est généralement adapté à délivrer un signal d'action comprenant une composante proportionnelle au signal d'écart, une composante intégrale fonction de l'intégrale par rapport au temps du signal d'écart pour tenir compte de la puissance nécessaire au maintien à température et une composante dérivée fonction de la vitesse de variation du signal d'écart pour tenir compte des inerties thermiques du dispositif et réduire la tendance au pompage.

Cependant le gain de la boucle d'asservissement doit rester limité à une valeur critique pour éviter des pompages d'amplitude supérieure à l'écart de température accepté. Or si le gain de boucle n'est pas constant lorsque la température de consigne varie, c'est la valeur maximale de gain qui doit être inférieure à la valeur critique, ce qui entraîne une réduction générale du gain de boucle, et une perte de précision de l'asservissement, à moins d'ajuster ce gain au voisinage et en dessous de la valeur critique pour chaque température.

Les non-linéarités de réponse de ces asservissements ont principalement pour origine la réponse des éléments thermosensibles en signal primaire non-linéaire avec la température, et la réponse du modulateur de puissance non-linéaire en puissance avec le signal d'action. Pour ces derniers en effet la réponse est généralement linéaire en tension, et donc quadratique en puissance dans une résistance de chauffage constante.

Pour linéariser la réponse en puissance des amplificateurs servant de modulateurs de puissance de chauffage, il est connu d'introduire dans ces amplificateurs des circuits à réponse parabolique, c'est-à-dire dont la tension de sortie est proportionnelle à la racine carrée de la tension appliquée à l'entrée. Il existe des dispositifs de calcul analogique qui convenablement associés, sont susceptibles d'approcher une réponse parabolique. Les circuits à réponse parabolique obtenus sont complexes, onéreux et parfois délicats à régler. On sait également réaliser des circuits dits générateurs de fonctions, comportant

une multiplicité de diodes polarisées individuellement par des tensions ajustables échelonnées pour approcher une fonction monotone déterminée. La précision de ces générateurs de fonctions est en rapport direct avec le nombre de diodes utilisées.

- 5 La précision de la régulation de température exige que le capteur soit sensible et linéaire avec la température, la sensibilité étant essentiellement donnée par le rapport signal/bruit dans la gamme de température désirée. Le bruit est pris ici au sens large et comprend toutes les perturbations qui peuvent
- 10 affecter le signal primaire et le signal d'écart. Parmi les éléments thermosensibles utilisés en association avec des capteurs, les thermocouples à réponse linéaire sont généralement faciles à protéger contre les bruits extérieurs, mais la faible force électromotrice qu'ils développent les rend sensibles aux
- 15 bruits thermiques. Par ailleurs ils doivent être associés à une jonction dont la température est stabilisée avec une précision supérieure à la précision recherchée pour la régulation. Les résistances à coefficient de température élevé insérées dans un capteur en pont sont généralement peu linéaires. Enfin on
- 20 connaît des éléments thermosensibles qui présentent une bonne linéarité avec la température associée à une sensibilité élevée, mais dont la réponse varie avec le courant qui les traverse. Des diodes à l'arseniure de gallium sont dans ce cas, avec un
- 25 coefficient de température négatif et ne sont utilisables qu'associées à un capteur comportant un dispositif de stabilisation précis du courant qui traverse l'élément thermosensible. La réponse de résistances de platine est également linéaire, avec un coefficient de température positif, lorsque le courant qui les traverse est maintenu constant.
- 30 L'invention a pour objet un dispositif d'asservissement de la puissance de chauffage d'une enceinte thermostatique associée à une source froide, du genre comportant en combinaison un capteur avec un élément thermosensible et délivrant un signal électrique primaire fonction linéaire de la température, un
- 35 comparateur délivrant un signal d'écart en réponse à la différence entre ledit signal primaire et un signal de consigne ajustable, un amplificateur d'écart délivrant un signal d'action avec une composante proportionnelle, une composante intégrale et une composante dérivée, et un modulateur de puissance d
- 40 chauffage adapté à délivrer une puissance de chauffage propor-

- tionnelle audit signal d'action, caractérisé en ce que capteur et comparateur formant une sonde adaptée à délivrer un signal d'écart avec un coefficient de sensibilité prédéterminé, l'amplificateur d'écart présente trois voies distinctes ajustables
- 5 séparément pour les trois composantes précitées, tandis qu'un linéariseur disposé à l'entrée dudit modulateur comprend une diode traversée par un courant en relation linéaire avec ledit signal d'action et polarisée en sorte que sa réponse en tension soit sensiblement parabolique.
- 10 Le groupement dans la sonde du capteur et du comparateur permet de corrélérer le signal primaire et le signal de consigne, ce qui diminue les bruits affectant la sensibilité. Le coefficient de sensibilité étant prédéterminé, et les trois voies de composantes du signal d'action étant distinctes et ajustables
- 15 séparément, le réglage du gain de boucle au voisinage du gain critique est rendu facile, sans réaction entre les voies, et indépendant des caractéristiques de la sonde. Le linéariseur est de réalisation simple, aisé à régler tout en assurant une approximation convenable.
- 20 De préférence, avec un élément thermosensible opposant à un courant constant une résistance variant linéairement avec la température, le dispositif comporte une sonde adaptée à alimenter en courant constant une branche de circuit retournant à la masse et comprenant en série une résistance d'affichage de consigne
- 25 et ledit élément thermosensible, et également adaptée à comparer la chute de potentiel de ladite branche à une tension de référence, ladite tension de référence déterminant l'intensité dudit courant constant avec un coefficient prédéterminé.
- L'élément thermosensible disposé en aval de la branche de
- 30 circuit a une extrémité à la masse, ce qui réduit l'influence des bruits induits de l'extérieur. La même tension de référence déterminant le courant constant dans la branche de circuit comprenant l'élément thermosensible et la résistance d'affichage de consigne, et le signal d'écart étant pris par rapport à cette
- 35 même tension de référence, la corrélation entre signal primaire et signal de référence est excellente et permet un rapport signal/bruit élevé, condition d'une grande sensibilité.
- Selon une disposition préférée la sonde comporte un premier
- 40 amplificateur différentiel avec une entrée positive, une entrée négative et une sortie, une première chaîne potentiométrique

avec une résistance de tête entre une tension de référence et ladite entrée positive, et une résistance de base entre ladite entrée positive et ladite sortie, une seconde chaîne potentiométrique avec une résistance de tête entre la masse et ladite entrée négative, et une résistance de base entre ladite entrée négative et ladite sortie, les rapports des résistances de tête aux résistances de base étant égaux dans les deux chaînes, une prise de dérivation en un point déterminé de la résistance de base de ladite première chaîne, ladite branche de circuit étant connectée entre ladite prise et la masse, et un second amplificateur différentiel avec deux entrées de commande directe et inverse et une sortie finale, une première entrée de commande étant reliée par une résistance à ladite sortie dudit premier amplificateur et la seconde entrée de commande étant reliée par une résistance à ladite tension de référence, tandis que ladite sortie finale est reliée à ladite entrée de commande inverse par une résistance de rétroaction.

Lorsque l'élément thermosensible est à coefficient de température négatif, ladite première entrée de commande est l'entrée de commande directe. Lorsque l'élément thermosensible est à coefficient de température positif, la première entrée de commande est l'entrée de commande inverse.

Avantageusement ladite sonde est amovible et préréglée en sorte qu'elle délivre un signal d'écart de 10 volts par degré.

Selon une disposition préférée ledit linéariseur comporte une première diode attaquée sur son anode par ledit signal d'action à travers une résistance d'entrée, un premier amplificateur différentiel avec sa sortie reliée à la cathode de ladite première diode à travers une résistance réglable, un second amplificateur direct avec son entrée reliée à l'anode de ladite première diode et délivrant une tension de sortie finale, cette tension finale étant également appliquée à une entrée négative dudit premier amplificateur à travers une résistance ajustable, une résistance fixe branchée entre ladite entrée négative et la sortie dudit premier amplificateur différentiel, et une seconde diode avec son anode à la masse et sa cathode branchée à l'entrée positive dudit amplificateur différentiel, une première résistance élevée étant branchée entre une source de tension positive et l'anode de ladite première diode, tandis qu'une seconde résistance élevée est branchée entre une source de ten-

sion négative et la cathode de ladite seconde diode.

Avantageusement lesdites première et seconde diodes sont en bon contact thermique.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront d'ailleurs de la description qui va suivre à titre d'exemple en référence aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 est un schéma général d'un dispositif selon l'invention ;

la figure 2 est un schéma d'une sonde avec un élément thermosensible à coefficient de température négatif ;

la figure 3 est un schéma d'une sonde avec un élément thermosensible à coefficient de température positif ; et

la figure 4 est un schéma d'une chaîne d'action avec un linéariseur à diode.

Selon la forme de réalisation choisie et représentée figure 1, une enceinte thermostatique 1 plongée dans une source froide 11 est chauffée par une résistance électrique 12. Un élément thermosensible 13, avec une extrémité à la masse est relié à une sonde 2 comportant un élément d'affichage de consigne 20, et une sortie de signal d'écart 21. Un amplificateur d'écart désigné par 3 dans son ensemble comporte trois voies, une voie proportionnelle avec un potentiomètre 30 et un amplificateur proportionnel 31, une voie intégrale avec un potentiomètre 32 et un amplificateur intégrateur 33, et une voie dérivée avec un potentiomètre 34 et un amplificateur dérivateur 35. Les trois voies précitées regroupées en 36 attaquent, à travers un amplificateur séparateur 37, un linéariseur désigné par 4 dans son ensemble et comportant une résistance d'entrée 41, une diode de linéarisation 40 polarisée par un dispositif 42 en sorte que sa réponse soit parabolique. A la sortie un amplificateur 50 est monté en modulateur de puissance entre la source d'énergie électrique 51 et la résistance 12.

Dans une forme de réalisation préférée représentée schématiquement figure 2 l'élément thermosensible 13 est une diode à l'arséniure de gallium, à coefficient de température négatif. Cet élément thermosensible 13 dont une extrémité est à la masse, est relié par son autre extrémité à une résistance réglable 20 d'affichage de consigne. Cette résistance 20 se compose de décades à plots complétées par un rhéostat de précision à variation continue équipé d'un bouton démultiplicateur gradué. Les

graduations des commandes d'affichage sont inversées par rapport aux valeurs prises par la résistance 20, en sorte que la somme de la valeur de résistance réelle de la résistance 20 et de la valeur affichée soit une constante.

5 La branche de circuit constituée par l'élément thermosensible 13 et la résistance d'affichage 20 est connectée entre la masse et une prise de dérivation 232 de la résistance de base 231 d'une chaîne potentiométrique dont la résistance de tête 230 est branchée entre une tension de référence 22 et une connexion 233 allant à l'entrée positive d'un amplificateur différentiel 23 ; la résistance de base 230 est branchée entre la connexion 233 et la sortie de l'amplificateur différentiel 23. Cet amplificateur différentiel 23 est un circuit intégré connu sous le nom d'amplificateur opérationnel, dont la tension de sortie varie dans le même sens que la tension sur l'entrée dite positive ou directe, tandis qu'elle varie en sens inverse de la tension sur l'entrée dite négative ou inverse. Entre masse et sortie de cet amplificateur différentiel 23 est disposée une seconde chaîne potentiométrique composée d'une résistance de tête 236 entre masse et la connexion 235 de l'entrée négative de l'amplificateur 23, et d'une résistance de base 234 branchée entre la connexion 235 et la sortie de l'amplificateur 23. Dans les deux chaînes potentiométriques, les rapports des résistances de tête 230, 236 aux résistances de base respectives 231, 234 sont ajustés à l'égalité. La sortie de l'amplificateur 23 est reliée à une première entrée d'un second amplificateur différentiel 24 tandis que la tension de référence 22 est reliée à la seconde entrée à travers la résistance 242. La première entrée est l'entrée directe et la seconde entrée est l'entrée inverse de l'amplificateur différentiel 24, qui est un amplificateur opérationnel semblable à l'amplificateur 23. Entre la sortie 21, sortie finale de la sonde, et l'entrée inverse 241 est branchée une résistance de rétroaction 240.

35 Dans la variante de réalisation schématisée figure 3, l'élément thermosensible 13 est une sonde à résistance de platine, à coefficient de température positif. La disposition des éléments de cette sonde est très voisine de celle schématisée figure 2, avec deux amplificateurs différentiels 23 et 24, deux chaînes potentiométriques 230, 231 et 236, 234. La différence réside en ce que la première entrée du second amplificateur différentiel

40

24, reliée à la sortie du premier amplificateur 23 par la résistance 243 est l'entrée inverse, tandis que la seconde entrée de l'amplificateur 24 reliée à la tension de référence 22 par la résistance 242 est l'entrée directe. La résistance 240 de rétroaction est branchée entre la sortie finale 21 et l'entrée inverse 241 de l'amplificateur 24.

Entre la sortie finale 21 et l'entrée 21' de la chaîne d'action schématisée figure 4 est disposé un amplificateur linéaire non représenté qui fait corps avec chaque sonde schématisée figure 2 ou 3 et dont le gain est ajusté de telle façon que le signal d'écart sur l'entrée 21' de la chaîne d'action soit de 10 volts par degré d'écart entre la valeur de consigne et la température de la sonde.

Sur l'entrée 21' s'embranchent la voie proportionnelle 31 avec un potentiomètre 30 de dosage d'action proportionnelle, la voie intégrale 33 avec un potentiomètre 32 de dosage d'action intégrale, et la voie dérivée 35 avec un potentiomètre 34 de dosage d'action dérivée. La voie intégrale 33 comprend un amplificateur 330, et une chaîne de rétroaction intégrale constituée par le condensateur 332 entre sortie et entrée inverse de l'amplificateur 330, et la résistance 331 d'entrée. La sortie de l'amplificateur 330 comporte un atténuateur 333 couplé avec des atténuateurs 41 et 401 à l'entrée et la sortie du linéariseur 4. La voie dérivée 35 comprend un amplificateur 350 et une chaîne de rétroaction dérivée constituée par la résistance 351 entre sortie et entrée inverse de l'amplificateur 350, et le condensateur 352 d'entrée.

Les sorties des trois chaînes d'action 31, 33 et 35 sont additionnées par l'amplificateur 37 équipé d'une résistance de rétroaction 371 entre sortie et entrée négative, la chaîne proportionnelle 31 aboutissant à l'entrée négative, tandis que les chaînes intégrale 33 et dérivée 35 sont reliées à l'entrée positive de l'amplificateur 37 par les résistances 334 et 354 respectivement.

La résistance d'entrée 41 du linéariseur 4 est constituée par un atténuateur dosant la rétroaction sur l'amplificateur 37.

Dans le linéariseur 4, l'extrémité de la résistance 41 aboutit à l'entrée positive de l'amplificateur 400, dont l'entrée négative est reliée à la masse à travers une résistance de fuite

402. Un première diode 40, reliée par son anode à l'entrée positive de l'amplificateur 400 et branché par sa cathode, à travers une résistance réglable 421 à la sortie d'un deuxième amplificateur différentiel 420. Entre la sortie et l'entrée inverse de l'amplificateur 420 se trouve une résistance fixe 423, tandis qu'une résistance ajustable 422 est disposée entre l'entrée inverse de l'amplificateur 420 et la sortie de l'amplificateur 400. Une seconde diode 424, avec son anode à la masse, à sa cathode reliée à l'entrée directe du deuxième amplificateur 420. Une résistance élevée 425 relie la cathode de la diode 424 à une source de tension négative, tandis qu'une résistance élevée 426 relie l'anode de la diode 40 à une source de tension positive. Les deux diodes 40 et 424 sont disposées côte à côte et en bon contact thermique, en sorte que les températures de ces diodes 40 et 424 soit sensiblement identiques. L'atténuateur 401, en sortie de l'amplificateur 400, constitue la sortie finale du linéariseur 4.

La sortie finale du linéariseur 4 attaque le modulateur de puissance 50 à travers un réseau unidirectionnel 403 adapté à ne transmettre au modulateur 50 que les tensions positives par rapport à la masse. Le modulateur est un amplificateur comprenant un transistor NPN 500, un transistor PNP 501 et un transistor de puissance NPN 502. Une chaîne de rétroaction globale est constituée par la résistance 503 entre émetteurs des transistors 500 et 502, et la résistance 504 entre émetteur du transistor 500 et masse. Le courant d'émetteur du transistor 502 est transmis à la résistance de chauffage 12 à travers une diode 505.

L'alimentation de l'amplificateur 50 est fournie par la source 51 qui comprend une source de tension alternative 510, et un pont redresseur 511 avec un condensateur de lissage 512.

Le fonctionnement du dispositif schématisé figure 1 peut se comprendre comme suit.

La température T de l'enceinte résulte de l'équilibre entre la puissance P fournie à l'enceinte par la résistance 12, et la somme de la puissance écoulee vers la source froide à température T_0 et de la puissance accumulée dans l'enceinte par inertie thermique. La réponse de l'élément thermosensible 13 à la température T est un signal primaire qui est comparé dans la sonde 2 à un signal de consigne affiché sur l'élément d'affichage 20 et correspondant à une température de consigne T_c ;

c'est-à-dire que le signal de consigne est égal au signal primaire fourni par l'élément thermosensible à la température de consigne T_c . Le signal d'écart sur la sortie 21 E est proportionnel, la sonde étant linéaire, à $T_c - T$, le coefficient de proportionnalité étant ajusté, par réglage préalable du gain de la sonde, de 10 volts par degré.

Le signal d'action au point 30 est la somme A d'une composante proportionnelle à l'écart E, d'une composante intégrale $\frac{1}{0.1} \int E dt$ destinée à tenir compte de la puissance nécessaire pour maintenir l'enceinte à la température T_c , et d'une composante dérivée $0.2 \frac{dE}{dt}$, destinée à tenir compte de l'enceinte thermique et de la répartition des conductances thermiques de l'enceinte, et permettant le réglage de l'asservissement au voisinage du régime critique.

Le signal d'action A est appliqué au linéariseur 4. La tension V sur l'anode de la diode 40, traversée par le courant dans la résistance 41 soumise au signal d'action A serait sensiblement logarithmique. Le dispositif de polarisation 42, comme il sera expliqué en détail plus loin, corrige cette réponse logarithmique pour la rendre sensiblement parabolique, c'est-à-dire que V est de la forme $(KA)^{1/2}$.

La tension V' délivrée par le modulateur 50 à la résistance 12 est proportionnelle à V. La puissance P appliquée à cette résistance 12 de valeur R est $\frac{V'^2}{R}$, et ainsi P est sensiblement proportionnel à A.

En se reportant à la figure 2, on appellera R_0 la valeur de la résistance 230, M le rapport de la résistance 231 à la résistance 230, ainsi que le rapport de la résistance 234 à la résistance 236, E_0 la tension de référence 22, Z la résistance de la branche de circuit comprenant la résistance de consigne 20 et l'élément thermosensible 13, e_1 la tension sur la connexion 233, e_2 la tension sur la connexion 235, G le gain de l'amplificateur 25, et S la tension de sortie de cet amplificateur 23.

La tension de sortie S de l'amplificateur 23 est donnée par

$$S = G (e_1 - e_2) \quad (1)$$

En considérant le pont 236, 234 on a

$$e_2 = \frac{S}{1+M} \quad (2)$$

En considérant que G est très grand devant $1+M$ on peut écrire en combinant (2) et (1)

$$e_1 = \frac{S}{1+M} \quad (3)$$

Si l'on appelle en outre i_1 le courant traversant la résistance 230, i_o le courant de la branche comprenant l'élément thermosensible 13, et α la fraction de la résistance 231 comprise entre la sortie de l'amplificateur 23 et la prise 232, on a :

$$R_o i_1 = E_o - e_1 \quad (4)$$

$$\alpha M R_o i_o = S - e_1 + M R_o i_1 \quad (5)$$

10 en combinant (4) et (5)

$$\alpha M R_o i_o = S - e_1 (1+M) + M E_o \quad (6)$$

en combinant (6) et (3) il vient

$$i_o = \frac{E_o}{\alpha R_o} \quad (7)$$

15 Ce courant i_o dans la branche de circuit comprenant l'élément thermosensible 13, est donc indépendant de la résistance de cette branche, à condition que les rapports de résistance M des deux chaînes potentiométriques 230/231 et 236/234 soient égaux, et peut être ajusté, par réglage de la position de la prise 232 de dérivation, à une valeur prédéterminée de façon indépen-
20 dante.

La tension à la prise de dérivation 232 est $Z i_o$ et également $e_1 - (1-\alpha) M R_o i_1$. Aussi en tenant compte de (7), (4) et (3) on peut écrire :

$$\frac{Z E_o}{\alpha R_o} = S \frac{1 + (1-\alpha) M}{1+M} - E_o (1-\alpha) M \quad (8)$$

25 Ce qui donne

$$S = E_o \frac{1+M}{1+(1-\alpha) M} \left[\frac{Z}{\alpha R_o} + M(1-\alpha) \right] \quad (9)$$

Si l'on se reporte à la figure 3 les résultats sont identiques, puisque les montages autour de l'amplificateur 23 sont identiques.

30 Sur le montage de la figure 2, en appelant N le rapport de la résistance 240 à la résistance 242, et S' la tension de sortie finale sur la borne 21, et le gain de l'amplificateur 24 étant très grand.

$$S' = S(1+N) - N E_o \quad (10)$$

Le signal d'écart S' résulte donc de la comparaison entre la tension S , fonction linéaire de Z et la tension de référence E_0 , qui définit également le courant constant dans la branche entre la dérivation 232 et la masse.

- 5 De façon analogue que le montage de la figure 3, si N est alors le rapport de la résistance 240 à la résistance 243.

$$S' = (1+N)E_0 - NS \quad (11)$$

- 10 On remarquera que le signal d'écart varie dans le même sens que S pour le montage de la figure 2 qui comporte un élément thermosensible 13 à coefficient de température négatif, tandis qu'il varie en sens inverse de S pour le montage de la figure 3 qui comporte un élément thermosensible 13 à coefficient de température positif. Dans l'un et l'autre cas ce signal d'écart S' sera positif lorsque la température de l'élément thermosensible sera inférieure à la température de consigne affichée.

- 15 Le signal d'écart est transmis de la borne 21 à la borne d'entrée 21' (figure 4) de l'amplificateur d'écart à trois voies à travers un montage amplificateur classique non représenté dont le gain est ajusté, en fonction des caractéristiques de l'élément thermosensible pour obtenir sur la borne 21' un signal d'écart de 10 volts par degré. Ce montage amplificateur inverse le sens du signal d'écart. Aussi l'amplificateur d'écart inverse t'il à son tour le signal d'action par rapport au signal d'écart reçu sur la borne 21'.

- 25 La voie proportionnelle 31, dosée par le potentiomètre 30 attaque l'entrée inverse de l'amplificateur 37 dont le gain est ajusté par la résistance de rétroaction 371, tandis que les sorties des voies intégrales 33 et dérivées 35 attaquent ensemble l'entrée directe de cet amplificateur 37 à travers les résistances respectives 334 et 354, qui permettent l'addition sans réaction d'une voie sur l'autre. En sortie de l'amplificateur 37, les trois composantes du signal d'action sont additionnées avec les signe correct. L'action intégrale de la voie 33, dosée par le potentiomètre 32, est obtenue par la rétroaction, sur l'entrée négative de l'amplificateur 330, de la tension de sortie de cet amplificateur dérivée par le condensateur 332 et la résistance 331. De façon similaire, l'action dérivée de la voie 35, dosée par le potentiomètre 36, est obtenu par la rétroaction, sur l'entrée négative de l'amplificateur 350, de la tension de sortie de cet amplificateur intégrée par la résistance 351 et le

condensateur 352. Les dosages des trois composantes du signal d'action sont ainsi indépendants, et peuvent être ajustés pour tenir compte des caractéristiques thermiques de l'enceinte, et indépendamment des caractéristiques de l'élément thermosensible
 5 puisque la sonde est préréglée pour une sensibilité prédéterminée de 10 volts par degré.

Le linéariseur 4 comprend un réseau à réponse sensiblement parabolique formé par la résistance d'entrée 41 recevant le signal d'action, la diode 40 et la résistance ajustable 421, et
 10 un circuit d'amplificateur à gain ajustable constitué autour de l'amplificateur direct 400 et de l'amplificateur de rétroaction 420. Lorsqu'une diode semi-conductrice telle que la diode 40 est traversée dans le sens passant par un courant I , la tension entre cathode et anode est de la forme $u = u_0 L(1+I/I_0)$, u_0 étant
 15 une constante pour une température déterminée et I_0 un courant unitaire choisi I_0 . En ajoutant à cette tension u la tension rI résultant du passage du courant I qui traverse la diode 40 dans la résistance réglable 421 de valeur r , la tension $v = u + rI$ approche de très près, pour une valeur convenable de r , une loi
 20 parabolique de la forme $v = KI^{1/2}$, sauf évidemment pour les très faibles valeurs de I . En fait la loi parabolique est approchée à mieux que 2% dans la gamme comprise entre 10 et 100% du signal d'action maximal. Un faible courant de prépolarisation de l'ordre de microampère est ajouté en provenance d'une source
 25 de tension positive à travers la résistance 426 pour placer la diode 40 franchement dans l'état passant.

Le signal de rétroaction, en provenance de la sortie de l'amplificateur 420 est appliqué à la base de la résistance réglable 421. Il comporte une composante de compensation de
 30 dérive de caractéristique de diode, introduite sur l'entrée directe de l'amplificateur 420 et obtenu en faisant passer dans la diode 424 un courant I_p , dans le sens passant, en provenance d'une source de tension négative à travers la résistance 425, et une composante de rétroaction globale, définissant le gain
 35 global de l'amplificateur par le rapport de la résistance ajustable 422 à la résistance fixe 423. Ainsi le linéariseur sera réglé par retouches successives de la résistance ajustable 422 et de la résistance réglable 421 en sorte/la tension de sortie du linéariseur 4 soit une réponse parabolique approchée au mieux
 40 avec une amplitude déterminée.

Les atténuateurs 401, 41 et 333 sont des atténuateurs à plots couplés. Les rapports d'atténuation des atténuateurs 41 et 371, respectivement égaux sont proportionnels au carré des rapports correspondants de l'atténuateur 401, en sorte que l'atténuation en sortie du linéariseur 4 soit compensée par un accroissement corrélatif du gain de l'amplificateur d'action par atténuation des rétroactions. Ceci permet, lorsqu'il est prévu de travailler avec une puissance réduite sur la résistance 12 de l'enceinte, de faire fonctionner le linéariseur à pleine échelle, tout en maintenant le gain global, exprimé en watts par degré, constant, et donc l'asservissement au voisinage du régime critique.

L'amplificateur de puissance 50 qui module la puissance appliquée à la résistance 12 est classique dans l'ensemble, avec trois étages d'amplification successifs, NPN, PNP, NPN, et une rétroaction globale par la chaîne de résistance 503, 504. Le rapport de la résistance 503 à la résistance 504 est déterminé, pour fixer le gain global de l'amplificateur 50, en fonction de la valeur de la résistance 12 et de la tension fournie par le redresseur 51, de façon qu'à l'excursion maximale de signal à l'entrée 403 corresponde l'excursion maximale de puissance sur la résistance 12. Il est à remarquer que l'entrée 403 constitue un limiteur à seuil, évitant la transmission à l'amplificateur 50 de signaux transitoires négatifs, ou positifs au-delà de valeur admissibles. La résistance 12 est reliée à l'amplificateur 50 par la diode 505, pour éviter qu'un courant traverse la résistance 12 en l'absence d'une tension positive en provenance du linéariseur 4.

Il est évident que l'invention n'est pas limitée aux dispositions décrites et que bien des variantes pourraient être réalisées sans sortir pour autant du cadre de l'invention.

Il en serait de même si une sonde selon l'invention était remplacée, à l'entrée de la voie d'action, par une sonde classique de même sensibilité, par exemple du type à thermocouple et amplificateur hacheur à grand gain. Une telle substitution ne serait pas de nature à faire sortir le dispositif du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'asservissement de la puissance de chauffage d'une enceinte thermostatique associée à une source froide, du genre comportant en combinaison un capteur avec un élément thermosensible et délivrant un signal électrique primaire fonction linéaire de la température, un comparateur délivrant un signal d'écart en réponse à la différence entre ledit signal primaire et un signal de consigne ajustable, un amplificateur d'écart délivrant un signal d'action avec une composante proportionnelle, une composante intégrale et une composante dérivée, et un modulateur de puissance de chauffage adapté à délivrer une puissance de chauffage proportionnelle audit signal d'action, capteur et comparateur formant une sonde adaptée à délivrer un signal d'écart avec un coefficient de sensibilité prédéterminé, caractérisé en ce que, l'amplificateur d'écart comportant selon une disposition connue en soi trois voies distinctes ajustables séparément pour les trois composantes précitées, un linéariseur disposé à l'entrée dudit modulateur comprend une diode traversée par un courant en relation linéaire avec ledit signal d'action et polarisée en sorte que sa réponse en tension soit sensiblement parabolique.

2. Dispositif selon la revendication 1, avec un élément thermosensible opposant à un courant constant une résistance variant linéairement avec la température, où ladite sonde est adaptée à alimenter en courant constant une branche de circuit comprenant en série une résistance d'affichage de consigne et ledit élément thermosensible, et est également adaptée à comparer la chute de potentiel dans ladite branche à une tension de référence, cette tension de référence déterminant l'intensité dudit courant constant avec un coefficient prédéterminé, caractérisé en ce que ladite branche de circuit retourne à la masse par une extrémité dudit élément thermosensible.

3. Dispositif selon la revendication 2, où ladite sonde comporte un premier amplificateur différentiel avec une entrée positive, une entrée négative et une sortie, une première chaîne potentiométrique avec une résistance de tête entre une tension de référence et ladite entrée positive et une résistance de base entre ladite entrée positive et ladite sortie, caractérisé par une seconde chaîne potentiométrique avec une résistance de tête entre la masse et ladite entrée négative et une résistance de base entre ladite

entrée négative et ladite sortie, les rapports de résistance de tête à résistance de base étant égaux dans les deux chaînes, par une prise de dérivation en un point déterminé de la résistance de base de ladite première chaîne, ladite branche de circuit étant
5 connectée entre ladite prise et la masse, et par un second amplificateur différentiel avec deux entrées de commande directe et inverse et une sortie finale, une première entrée de commande étant reliée par une résistance à la sortie dudit premier amplificateur différentiel, et la seconde entrée de commande étant reliée par
10 une résistance à ladite tension de référence, tandis que ladite sortie finale est reliée à l'entrée de commande inverse par une résistance de rétroaction.

4. Dispositif selon la revendication 3 pour un élément thermosensible à coefficient de température négatif, caractérisé en
15 ce que ladite première entrée de commande est l'entrée de commande directe.

5. Dispositif selon la revendication 3 pour un élément thermosensible à coefficient de température positif, caractérisé en ce que ladite première entrée de commande est l'entrée de commande
20 inverse.

6. Dispositif selon une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ladite sonde est amovible et préréglée en sorte qu'elle délivre un signal d'écart de 10 volts par degré.

7. Dispositif selon une quelconque des revendications 1 à 6,
25 caractérisé en ce que ledit linéariseur comporte une première diode attaquée sur son anode par ledit signal d'action à travers une résistance d'entrée, un premier amplificateur différentiel avec sa sortie reliée à la cathode de ladite première diode à travers une résistance réglable, un second amplificateur direct avec son entrée reliée à l'anode de ladite première diode et délivrant une
30 tension de sortie finale, cette tension finale étant également appliquée à une entrée dudit premier amplificateur à travers une première résistance de rétroaction ajustable, une résistance fixe branchée entre ladite entrée négative et la sortie dudit premier
35 amplificateur différentiel, et une seconde diode avec son anode à la masse et sa cathode branchée à l'entrée positive dudit premier amplificateur différentiel, une première résistance élevée étant branchée entre une source de tension fixe positive et l'anode de la première diode, tandis qu'une seconde résistance élevée est
40 branchée entre une source de tension fixe négative et la cathode

de la seconde diod .

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que l sdites première et seconde diodes sont en bon contact thermique.



FIG. 4

